



Neiro Villo

LIIKLUSÕNNETUSE REKONSTRUEERIMINE EDR SÜSTEEMI ABIL

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika eriala

Juhendaja: Janek Lupp

Tallinn 2022

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, **Neiro Villo**, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Üliõpilase kood: **180820039**

Õpperühm: **AT2018**

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Kaitsmisele lubatud.

Juhendaja: **Janek Lupp**in /allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas/

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Neiro Villo, sünnikuupäev: 11.08.1998, annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Liiklusõnnetuse rekonstrueerimine EDR süsteemi abil:

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Lõputöö autor: **Neiro Villo** /allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas/

SISUKORD

SISUKORD.....	3
LÜHENDITE LOETELU	4
SISSEJUHATUS.....	5
1. SÜNDMUSE SALVESTAJA SÕIDUAUTODES – EDR	6
1.1. Sündmusandmete salvestussüsteemi tutvustus.....	6
1.2. Süsteemi poolt salvestatavad parameetrid.....	8
1.3. EDR andmete kogumine ehk CDR süsteem	8
1.3.1. Andmete lugemine sõiduki turvasüsteemi juhtmoodulist	10
1.3.2. Sõiduki VIN koodi tuvastamine ja kuvamine	12
2. SEADUSANDLUS	13
2.1. Euroopas kehtivad direktiivid	13
3. AVARIILISTE SÕIDUKITE TUVASTAMINE EDR SÜSTEEMI ABIL	16
4. LIIKLUSÕNNETUSTE REKONSTRUEERIMINE EDR ABIL	18
4.1. I juhtum – rekonstrueerimine salvestatud roolinurga ja kiiruse abil	18
4.2. II juhtum – progressiivne kiirendus	20
4.3. III juhtum – juhi aktiivsuse määramine kokkupõrke ennetamiseks	23
5. JÄRELDUSED/ANALÜÜS	25
5.1. Liiklusõnnetuste järelused	25
5.1.1. Juhtumi I järelused	25
5.1.2. Juhtumi II järelused.....	25
5.1.3. Juhtumi III järelused	26
5.1.4. Järelused ja ettepanekud CDR raporti koostamisest (VIN)	26
5.2. Autori poolsed ettepanekud.....	27
KOKKUVÕTE.....	29
SUMMARY	30
VIIDATUD ALLIKAD.....	31

LÜHENDITE LOETELU

ACM	– ingl.k. <i>Airbag Control Module</i> . Turvapatjade juhtmoodul;
CDR	– ingl.k. <i>Crash Data Retrieval</i> . Kokkupõrke andmete taastamise tööriist, millega on võimalik EDR poolt salvestatud andmeid peale avariid kuvada;
DARR	– ingl.k. <i>Digital Accident Research Recorder</i> . Digitaalne õnnetuste uurimiste salvesti;
ECU	– ingl.k. <i>Electronic Control Unit</i> . Elektrooniline juhtmoodul;
EDR	– ingl.k. <i>Event Data Recorder</i> . Sõiduautes kasutatav sündmusandmete salvestaja. Süsteem, mis lühiajaliselt salvestab avariasse sattunud sõiduki tehnilist teavet;
GM	– ingl.k. <i>General Motors</i> . Ameerika Ühendriikides tegutsev autotootja;
NHTSA	– ingl.k. <i>National Highway Traffic Safety Administration</i> . Ameerika riiklik maanteed liiklusohutuse amet;
OBD	– ingl.k. <i>On-Board Diagnostics</i> . Sõidukites kasutatav universaalne pistik, läbi mille on võimalik kuvada sõiduki tehnilist teavet;
SRS	– ingl.k. <i>Supplemental Restraint System</i> . Täiendavad turvasüsteemid;
UN	– ingl.k. <i>United Nations</i> . Ühinenud Rahvaste Organisatsioon;
VIN	– ingl.k. <i>Vehicle Identification Number</i> . Sõiduki identifitseerimisnumber;
VRU	– ingl.k. <i>Vulnerable Road User system</i> . Sõiduki väline turvasüsteem.

SISSEJUHATUS

Sõiduautodes kasutusel olev sündmuse salvestussüsteem ehk EDR süsteem muutub alates 2024. aastast kohustuslikuks kõigile uutele sõiduautodele Euroopa Liidus. Alates 2022. aasta suvest on süsteemi olemasolu vajalik uutele sõiduautodele tüübikinnituse saamiseks. Sellest hoolimata on paljud sõiduautotootjad juba varasemalt võtnud oma sõidukites kasutusele EDR süsteemi, mille salvestistest on võimalik kuvada liiklusõnnetusse sattunud sõidukite tehnilist teavet.

Uurimistöö eesmärk on tuvastada võimalused EDR süsteemi salvestiste kasutamiseks liiklusõnnetuste rekonstrueerimiseks ja avariiliste sõidukite tuvastamiseks. Sealhulgas tuuakse välja uurimise käigus esinenud puudused ja autori poolsed ettepanekud.

Uurimisküsimused:

1. Milliseid andmeid on võimalik koguda avariijärgselt taastatud sõidukilt ning kas on võimalik tuvastada süsteemi salvestise abil avariilisi sõidukeid?
2. Kui täpselt ning milliste süsteemi poolt salvestatavate andmete põhjal on võimalik liiklusõnnetusi rekonstrueerida?

Lõputöös kasutatakse andmete kogumise meetodiks sõidukite EDR salvestiste raporteid. Uurimistöös kasutatavate liiklusõnnetustes osalenud sõidukite hilisema identifitseerimise vältimiseks pole töös kuvatud juhtumites osalenud sõidukite VIN koode, tootjaid ega mudeleid (v.a Tallinna Tehnikakõrgkoolis õppematerjalina kasutusel oleva Toyota IQ puhul).

Töös käsitletud kolme õnnetusjuhtumise osalenud sõiduki EDR salvestised on edastatud Lettore OÜ poolt õppetöö eesmärgil sõidukite identifitseerimisandmeteta. Lisaks raportitele on allikana kasutatud Boschi CDR raportite koostamise tarkvara ning simulatsioonide loomiseks PC-Crash simulatsioonitarkvara.

1. SÜNDMUSE SALVESTAJA SÕIDUAUTODES – EDR

Sündmusandmete salvestaja on sõiduautodesse paigaldatud seade, mis salvestab sõiduki ja reisijate tehnilist teavet lühikese aja jooksul süsteemi käivitava sündmuse puhul, milleks on avarii või avariilähedane sündmus. Süsteemi poolt salvestatud andmeid on hilisemalt võimalik kasutada juhtumi analüüsimiseks ja rekonstrueerimiseks. Salvestatavad parameetrid aitavad paremini mõista õnnetuste ja vigastuste esinemise asjaolusid ning hõlbustavad sõidukite ohutuma konstruktsiooni väljatöötamist. Suur osa tänapäevastest sõidukitest on varustatud EDR süsteemiga, millel on valmidus salvestada nii avariieelseid (*pre-crash*), kui ka -järgseid (*crash-pulse*) andmeid. Varasemate versioonide puhul võib leida erinevusi süsteemi poolt salvestatavate andmeväljade puhul, kuid 2022. aasta juunis kehtima hakkava Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni regulatsiooni NR.160 alusel on kohustuslikud salvestatavad parameetrid määratletud antud dokumendis. [1] [2]

EDR süsteem ei salvesta andmeid tavapärase sõiduolude puhul ning samuti ei salvesta süsteem sõiduki juhti ega sõiduki geograafilist asukohta. Salvestatud andmete lugemine süsteemist ei ole lubatud sõiduki omaniku loata, kuid vajaliku tõendi või loaga saavad kolmandad isikud kasutada salvestatud andmeid tõendina. Salvestatud andmete tõlgendamiseks on vajalikud eriseadmed, mille kättesaadavus on piiratud. Süsteemi poolt salvestatud andmeid ei ole võimalik kustutada ega süsteemi välja lülitada. [2] [3]

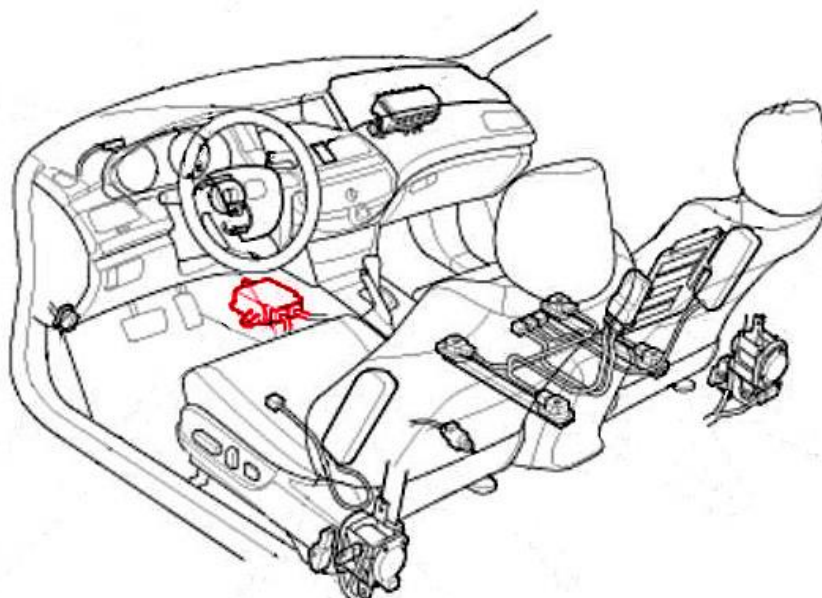
Autotootjate poolt on salvestussüsteem kasutusele võetud eelkõige kohtuvaidlustes tõendina kasutamise meetodina, kus sõiduki omanik väidab sõiduki väärtoimimist, kuid salvestatud andmete põhjal saab tõendada juhi ja sõiduki käitumist avarii. Lisaks sellele on autotootjatel võimalik EDR süsteemi poolt salvestatud andmete põhjal parandada sõiduki turvalisust ja analüüsida süsteemide toimimist. [3]

1.1. Sündmusandmete salvestussüsteemi tutvustus

Esimene autotootja, kes tutvustas oma sõiduautodes EDR süsteemi, oli 1995. aastal General Motors. Juba varasemalt oli GM alustanud oma võistlusautodesse avariieelsete andmete salvestamise süsteemi integreerimisega. Antud ajajärgul oli GM suureks rivaaliks Ford, kes ei tahtnud olla oma konkurendist kehvem ning integreeris samuti EDR süsteemi salvestusfunktsiooni SRS moodulisse. 2001. aastal alustas Toyota järk-järgult sündmuse salvestaja kasutusele võtmist oma toodetavates sõidukites, ning alates 2007. aastast on kõigis Toyota ja Lexuse sõiduautodes kasutusel sündmusandmete salvestamise funktsioon. [4]

Ootamatuks võib pidada tuntud turvaliste autode tootja Volvo hilist turule tulekut EDR süsteemiga, kuid tegelikkuses alustas Volvo oma sõiduautesse sarnase toote integreerimist juba 1994. aastal, mille Volvo nimetas DARR-iks. Antud süsteemi kasutas Volvo oma sõiduautes lühiajaliselt, kuna salvestatud info põhjal ei olnud võimalik teostada täpseid analüüse õnnetusjuhtumitest. Kokku koguti Volvo poolt 250 juhtumit, millest täpsemalt uuriti vaid kolmekümmet kahte. [4]

Enamik autotootjaid kasutab EDR andmete salvestamiseks ACM ehk turvapatjade juhtmoodulit. Erinevate autotootjate puhul paikneb moodul tüüpiliselt kas keskkonsooli taga või eesmise istme all (Sele 1). Auto ACM mooduli asukoht võimaldab ka raskemate kokkupõrgete korral säilitada moodulit. Mooduli paigutamisel sõiduki keskosa lähedale tagab ka andmete parema jälgimise. [5] [6]



Sele 1. ACM mooduli asukoht sõiduautos [6]

Sündmusandmete salvestajad salvestavad teavet sõiduauto erinevate turvasüsteemide oleku kohta, nagu näiteks turvapatjade avanemine ja turvavööde kasutamine. Lisaks sellele salvestatakse tehnilist teavet enne avari toimumist, kus kuvatakse näiteks gaasi- ja piduripedaali sisendit, sõiduki kiirust, roolinurk jne. Turvapatjade juhtmoodul jälgib töötava sõiduki puhul pidevalt sõiduki aeglustusi kiirendusmõõturite abil. Iga kord, kui varasemalt ette antud maksimaalse aeglustusläve algoritm on saavutatud, äratatakse see turvasüsteemi ning salvestatakse sõiduki tehniline teave. Igal ajal, kui süsteem äratatakse, toimub EDR süsteemi poolt viimase viie sekundi tehnilise teabe kogumine ja salvestamine erinevatest moodulites olenemata turvasüsteemide aktiveerumisele. [7] [8]

1.2. Süsteemi poolt salvestatavad parameetrid

Vastavalt sõiduauto tootjale erinevad kohati ka salvestatavad parameetrid sündmusandmete salvestaja süsteemis, kuid 41 kohustuslikku andmevälja on kinnitatud UN seaduse alusel ning alates 2024. aastast lisandub veel 23 kohustuslikku andmevälja. [9]

Varasemate süsteemide puhul pole reguleeritud salvestatud parameetrite hulka, täpsust, salvestusaegasid ega tingimusi. Erinevate autotootjate puhul kehtivad täiesti erinevad arusaamad salvestatavate andmete info väärtustest. Süsteemi poolt salvestatakse avariieelseid (*pre-crash*), kui ka -järgseid (*crash-pulse*) andmeid. Välja võib tuua näiteks Toyota poolt järk-järgult täienenud salvestussüsteemide generatsioonid, kus läbi aastate on turule tulnud kümne erineva salvestussüsteemi generatsiooniga. Esimeseks generatsiooniks loetakse Toyota 00EDR, mida kasutati esimestes Toyota mudelites 2001. aastast alates. [10]

Toyota esimese generatsiooni 00EDR süsteemid salvestasid viie sekundi jooksul enne avariid [10]:

- sõiduki kiirust;
- pidurilüliti olekut;
- gaasipedaali asend;
- mootori pöördeid.

Kõige moodsam Toyota EDR süsteem kuulub neljandasse generatsiooni ja seda kutsutakse Toyota poolt 19EDR-iks. Kõige moodsamat salvestussüsteemi liik on leitav alates 2020. aasta Toyota ja Lexuse mudelitest. Uudse süsteemi poolt võidakse salvestada süsteemi aktiveerumisel enne avariid näiteks kuni 27 andmevälja, millest olulisemateks liiklusõnnetuste rekonstrueerimisel on näiteks kiirus, pidurite lüliti, käiguvalitseja andmed, roolinurk, püsikiiruse hoidja olek ja sõidurežiim. [10]

1.3. EDR andmete kogumine ehk CDR süsteem

Süsteemiandmete salvestaja poolt salvestatud andmeid on võimalik töödelda kindlate süsteemidega, mida kutsutakse kokkupörke andmete taastamise tööriistaks ehk CDR tööriistaks. CDR andmekäsitlejaga on võimalik lugeda sõiduki EDR süsteemi poolt salvestatud parameetreid sõiduki kohta. Juhul kui õnnetusse sattunud sõiduki aku ja juhtmestik ei ole kahjustatud, on salvestatud EDR andmete hankimine sõiduki süsteemist võimalik CDR tööriistaga läbi universaalse OBD pistiku. Juhul kui sõiduki kahjustuste tõttu ei ole võimalik OBD pistikust andmete kogumine, on andmete alla laadimine võimalik otse sõiduki ACM moodulist. [10] [6]

Enamlevinum kasutusel olev CDR tööriista pakkuja on Bosch, kelle tooteid on rahvusvaheliselt tunnustanud õiguskaitseasutused, eksperdid ja kindlustusfirmad alates 2000. aastast. Varasemalt on GM poolt kasutatud andmete kuvamiseks GM enda EDRU või Vetronix süsteemi. [4]

Boschi CDR tööriistaga on võimalik lugeda enamiku autotootjate sõidukite EDR süsteemi andmeid. Boschil on valikus kolme sorti CDR tööriistasi: CanPlus, CDR500 ja CDR900 (Sele 2). Boschi CDR tööriistaga on võimalik kuvada 90% 2020. aastal toodetud sõiduautode EDR andmeid, kuid leidub ka üksikuid tootjaid, kelle sündmusandmete salvestisi on võimalik lugeda üksnes tootja poolse tarkvaraga (näiteks Tesla, Hyundai, Kia). [11]



Sele 2. Bosch CDR tööriistakomplekt CDR900 ja CANplus mooduliga [12]

Andmete sõidukist lugemiseks tuleb esmalt tutvuda tingimuste ja nõuetega, mis on leitavad Boschi CDR tarkvarast. Litsentseeritud tarkvarast on võimalik leida autotootjate, mudelite ning tootmisaastate põhiselt uuritava sõiduki teavet, kus kuvatakse tabelina, millist sorti andmeid on võimalik raportist lugeda, millise Boschi tööriistaga on võimalik andmetele ligi pääseda, kus asub ACM moodul, milliste ühendusjuhtmetega on võimalik andmeid kuvada ning eripärased täpsustused (Sele 4). OBD pistikuga ühendades tuleb valida tootja ning sisestada sõiduki VIN kood või lasta süsteemil iseseisavalt sõiduki VIN kood tuvastada. Kui süsteem on VIN koodi tuvastanud või see on sisestatud, on võimalus süsteemil andmeid kuvada. CDR tööriista poolt koostatud raportit on võimalik alla laadida PDF failina. Raportis kuvatakse esmalt CDR faili informatsioon tabelina (Sele 3), kus kuvatakse sõiduki VIN kood, süsteemi kasutaja, juhtumi number, andmete lugemise aeg, CDR tööriista ja litsentsi versioon. Lisaks sellele tuuakse välja, millisest moodulist andmeid kuvatakse ning kas esineb salvestatud sündmuseid ja millist tüüpi salvestatud sündmustega on tegu (Sele 3). [10]

CDR File Information	
User Entered VIN/Frame Number	JTEBH3FJ70508 5
User	Neiro Villo
Case Number	LC150
EDR Data Imaging Date	02.11.2022
Crash Date	
Imaged with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 21.2
Imaged with Software Licensed to (Company Name)	TTK University of Applied Science
Reported with CDR version	Crash Data Retrieval Tool 21.2
Reported with Software Licensed to (Company Name)	TTK University of Applied Science
EDR Device Type	Airbag Control Module
Event(s) recovered	Front/Rear (2)

Sele 3. Kuvatõmmis CDR süsteemi poolt kuvatud aruande infotabelist

Erinevate autotootjate puhul erineb andmete kuvamise meetod ja varasemate salvestussüsteemide vahel ka salvestatavate andmete hulk. CDR raportis kuvatakse täpsustavaid ja selgitavaid andmeid tootja või mudeli/aastakäigu põhiselt. Lisaks sellele täpsustatakse positiivsete ja negatiivsete salvestatud andmete väärtused, kus näiteks Toyota sõidukite puhul tähendab positiivne väärtus ümberpaiskumisel päripäevalist liikumist. Veel kuvatakse süsteemi staatust andmete kuvamise hetkel, kus tuuakse välja ECU generatsioon ja tootekood, kas eksisteerib diagnostilisi veakoode ning kas varasemalt on esinenud süsteemi aktiveerinud sündmusi. Avariis osalenud sõiduki puhul tuuakse raportis välja viimase ja varasema avarii tüüp ning tugevamate kokkupõrgete puhul, kus avanevad turvapadjad, ka rakendunud turvasüsteemide liik.

1.3.1. Andmete lugemine sõiduki turvasüsteemi juhtmoodulist

Andmete kogumine sõiduki turvasüsteemi juhtmoodulist on aeganõudvam ja kulukam kui EDR andmete kogumine läbi sõiduki OBD pistiku. Juhul kui sõiduk on saanud suuri vigastusi ja sõiduki elektrisüsteem on kahjustatud, tuleb andmete kogumine läbi viia otse sõiduki ACM moodulist. Andmete kogumine moodulist võib erineda autotootjate, mudelite ja tootmisaastate põhjal. Kõige suurem erinevus ACM-ist andmete kogumisel on vajaliku ühenduse loomises. Nimelt on sõidukite turvasüsteemi moodulid erinevate pistikutega, mille ühendamiseks CDR tööriistaga tuleb kasutada vastavat ühendusliidest. Boschi CDR tööriista ühendusliiteid on võimalik Boschi edasimüüjate käest lühiajaliselt rentida või osta. Rendihinnad ulatuvad kuni 720 dollarini, mille hulka kuulub 500 dollari suurune deposiit, mis on hiljem toote tagastamisel võimalik tagasi saada. [13]

Turvasüsteemi juhtmoodulist andmete kogumiseks on esmalt vaja sõidukilt turvasüsteemide moodul eemaldada. Raskelt vigastatud sõidukite puhul võib olla see keerukam, kuid kindlasti tuleb tervete ja avariiliste sõidukite puhul mooduli eemaldamiseks esmalt ühendada lahti sõiduki aku. Enne eemaldamist on Boschi CDR tarkvaras võimalik eemaldamisprotsessi ja sõidukite eripäraga tutvuda.

Tarkvaras on kuvatud ka vajamineva tööriista puhul ühendusliidese tootekood (Sele 4). Vale juhtme kasutamisel võib see vigastada CDR lugejat. Andmete kuvamisel ACM moodulist, tuleb see esmalt fikseerida liikumatult oma algsele asendisse (nt. kirjad üles). Juhul kui moodulit liigutatakse andmete lugemise ajal CDR tööriistaga, võib see salvestada uue sündmuse. Kindlasti tuleb lugemise lõppedes esmalt lahti ühendada CDR lugeja ACM moodulist ning seejärel oodata vähemalt kaks minutit enne mooduli liigutamist. [10]

IQ (Toyota)		2008 - newer	Market: <u>7</u>			
Year	Module	Vehicle Interface	OBD/DLC Connect Adapter/Cable	D2M Connect Adapter/Cable	Module Location	
2008 - 2009	ACM	CANplus or CDR 900	CANplus - F00K109287 - for CANplus interface only, you must use the DLC 4 OBD Adapter when connecting to vehicles sold outside the US & Canada markets CDR 900 - click here	CANplus - (no adapter) Cable#F00K109613 CDR 900 - click here (use listed cable above and no ACM adapter)	Under Center Console	

Sõiduk
ECU tüüp kust andmeid kogutakse

EDR generatsioon

Mooduliga ühenduse loomiseks vajaliku juhtme tootekood

Mooduli asukoht

Sele 4. Boschi CDR tarkvara sõidukipõhine andmete tabel [10]

Mooduli eemaldamisel on võimalik tuvastada, kas moodulit on varasemalt sõidukilt eemaldatud, kuna alumiiniumist korpusele jäävad nn. topeletrõngad. Turvasüsteemi juhtmooduli kinnitamiseks autosse on klassikaliselt kasutatud kolme ava, läbi mille kinnitatakse moodul poltidega liikumatu keredetaili külge (nt. käigukastitunnel). Juhtmooduli kolmest avast kaks on suuremad ja mooduli uuesti paigaldamisel ei ole võimalik kahte polti tsentreerida täpselt nii, nagu seda tehti tehases. Selle tagajärjel jäävadki mooduli korpusele korduvast seadme paigaldamisest jäljed (Sele 5). Foto vasakpoolsel pildil on roheline ringiga kuvatud mooduli kinnitus, kus on näha vaid ühte kinnitamisel tekkinud ringi, parempoolsel pildil on aga punasega kuvatud mooduli korduval paigaldamisel tekkinud mitmekordsed kinnitusjäljed.



Sele 5. Toyota IQ ACM korduval paigaldamisel tekkivad jäljed

1.3.2. Sõiduki VIN koodi tuvastamine ja kuvamine

Boschi CDR raportis kuvatakse sõiduki identifitseerimiseks sõiduki VIN kood. Andmete kuvamiseks Boschi tööriistaga tuleb esmalt valida sõiduki mark, peale mida tuleb sisestada sõiduki VIN kood. Kui andmete allalaadimine EDR süsteemist toimub läbi sõiduki OBD pistiku, on võimalik VIN kood kuvada automaatselt sõiduki poolt. Juhul kui sõiduk ei ole võimeline iseseisvalt VIN koodi kuvama või andmete kogumine toimub otse sõiduki ACM moodulist, tuleb sõiduki identifitseerimisnumber manuaalselt sisestada.

Tänu Tallinna Tehnikakõrgkooli koostööpartnerile Toyota Baltic AS, oli võimalik laboris õppevahendina kasutusel oleva 2009. aasta Toyota IQ abil läbi viia katse, kus prooviti andmete kogumist otse sõiduki turvasüsteemi juhtmoodulist. Andmete kuvamiseks kasutati Bosch CDR 900 tööriista ning Boschi adapterit koodiga F00K108613. Andmete kuvamisel sisestati sõiduki VIN koodi viimased neli numbrit valede arvudega, kus tegelik sõiduki VIN kood on JTNML11070J040997, mille viimased numbrid asendati katses 1234-ga.

Kui sõiduki VIN kood sisestatakse valesti, kuvab süsteem esmalt, et sisestatud VIN kood on vale, kuid laseb siiski andmete kuvamisega jätkata (Sele 6). Sisestatud vale sõiduki VIN kood kuvatakse raportisse, aga raportis ei märgita kuskil, et sisestatud VIN kood on väär.

Brand Selected: Toyota Change Brand

Request VIN From Vehicle !

IMPORTANT: The Read VIN from Vehicle feature will not return a Vehicle Identification Number (VIN) when using a DLC or PCM adapter during EDR imaging through the vehicle's DLC connector. In any case where this feature does not return a VIN, type in the vehicle's VIN below. Click on the [!] button for further information about this feature and its limitations.

☒ Vehicle Identification Number ☐ Frame Number

Vehicle Identification Number

J T N M L 1 1 J 0 4 1 2 3 4

VIN entered is invalid. Use this VIN anyway?

Yes No

Done **Cancel** **Clear**

Sele 6. Kuvatõmmis vale VIN koodi sisestamise hoiatusest [10]

2. SEADUSANDLUS

Seadusandluses on hetkel kaks kõige olulisemat dokumenti, millest üks on Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2019/2144, mis kehtestab salvestussüsteemi kohustuslikuks muutumise kuupäevad ning laiahaardeliselt süsteemi omadusi. Teiseks oluliseks dokumendiks on ÜRO (UN) eeskiri NR. 160, mis reguleerib täpsemalt salvestatavaid parameetreid ja nõudeid. [1] [14]

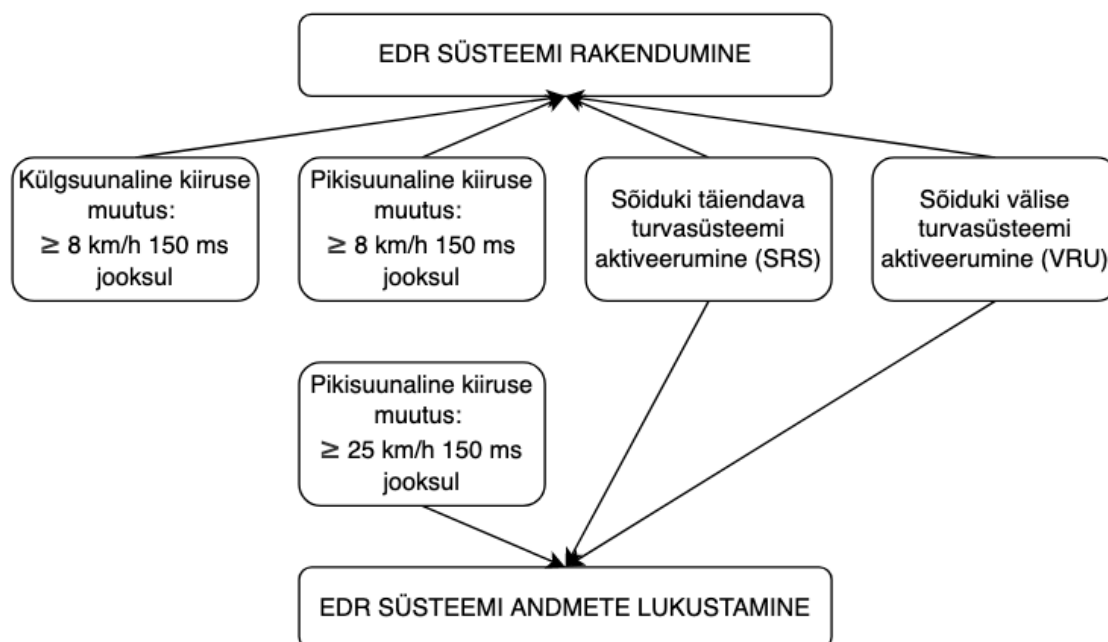
Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrusega EL 2019/2144 on sündmuste andmete salvestaja paigaldamine uut tüüpi sõiduautodele ja kaubikutele kohustuslik alates 6. juulist 2022 ning kõikidele uutele sõiduautodele ja kaubikutele alates 7. juulist 2024. aastast. Käsitletav süsteem võetakse kasutusele raskeveokite, veoautode ja busside tüübikinnituse ja müügiloo saamiseks 2026. ja 2029. aasta jaanuarist. [14]

Ameerika Ühendriikides alustati EDR süsteemi tutvustamist autotootjatele 2006. aastal, mille käigus on süsteemi olemasolu sõiduautodele tehtud „rangelt soovituslikuks“ ja standardiseeritud NHTSA poolt välja antud 49 CFR 563 alusel. [15] Samuti on EDR süsteemi olemasolu sõiduautodes alates 2021. aastast muudetud kohustuslikuks Hiinas. [16]

2.1. Euroopas kehtivad direktiivid

Euroopa Liidus muutub EDR kohustuslikuks kõigile uutele sõidukitele tüübikinnituse saamiseks 2022. aasta juulist. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määruses EL 2019/2144 on välja toodud, et sündmuste salvestite abil peaks olema andmete säilitamine ja salvestamine võimalik nii, et liikmesriikidel oleks salvestatud andmete põhjal võimalik analüüsida liiklusohutust ilma, et salvestatud andmete põhjal oleks võimalik tuvastada sõiduki omanikku. Nimelt on määruse alusel keelustatud EDR süsteemi poolt salvestatud andmetes kuvada hiljem raportis sõiduki nelja viimast VIN koodi numbrit. Andmete salvestamine peaks toimuma suletud ahela süsteemis, mis kirjutab varasemalt salvestatud andmed üle, kuid mille abil ei ole võimalik tuvastada sõidukit ega selle valdajat. Lisaks sellele on välja toodud Artikkel 6. nõuded, millele sündmuste salvestid peavad eelkõige vastama. Nimelt on dokumendis välja toodud järgmised salvestatavad andmed: kiirus, pidurdamine, sõiduki asend ja kalle teel, ohutussüsteemide seisund ning rakendumise kiirus, hädaabikõnede süsteem ning aktiveeritud ohutus- ja õnnetuste vältimise süsteemide asjakohased sisendparameetrid. Välja on toodud, et salvestatud andmed peavad olema täpsed ja andmete säilitamine peab olema tagatud. Muuhulgas ei tohi olla võimalik süsteemi välja lülitada ega süsteemi poolt salvestatud parameetreid kustutada. [14]

Vastavalt UN poolt kehtestatud dokumendile NR. 160 peab olema võimalik salvestada vähemalt kahe erineva sündmusega seotud andmeid. Andmete salvestamise tingimused on välja toodud UN dokumendi 5.3.1. alapunktis. Tulenevalt määrusest peab sündmusandmete salvestaja aktiveeruma juhul kui sõiduki pikisuunaline ja/või külgsuunaline kiiruse muutus on rohkem kui 8 km/h 150 ms või lühema intervalli jooksul. Samuti peab süsteem salvestama hetke, kus aktiveeruvad sõiduki SRS või VRU süsteemid (Sele 7). Määruses tuuakse välja sündmuse tingimused, mille puhul salvestatavad parameetrid süsteemi lukustatakse, mille puhul ei ole antud andmeid võimalik hilisemalt süsteemi poolt üle kirjutada. Sellisteks juhtudes on näiteks sõiduki kiiruse muutus sõiduki pikisuunal 150 ms jooksul rohkem kui 25 km/h või kui aktiveeruvad sõiduki SRS või VRU süsteemid (Sele 7). Määruses tuuakse välja kindlad parameetrid avarii nullhetke määramiseks määruse 5.3.3. alapunktis. [1]



Sele 7. EDR süsteemi aktiveerimise ja salvestise andmete lukustamise tingimused vastavalt UN määrusele NR. 160 [1]

UN määruse NR. 160 Lisa 4 loetletakse tabelina kohustuslikuks muutuvad salvestatavad andmeelemendid ja tingimused.

Salvestatavate andmete elemendid ja vorming vastavalt UN määrusele NR. 160 Lisa 4 [1]:

- andmeelement (nt. sõiduki kiirus);
- tingimuste nõuded (nt. kohustuslik);
- salvestusintervalli pikkus (nt. -5,0 kuni 0 sek);
- salvestussagedus sekundi kohta (nt 2);
- miinimum- ja maksimumulatus (nt. 0 km/h kuni 250 km/h);
- tolerants (nt. ± 1 km/h) ;
- resolutsioon (nt. 1 km/h);
- salvestatud sündmuse tasapind (nt. tasapinnaline sündmus või ümberpaiskumine või VRU süsteemi aktiveerumisel).

Vastavalt määrusele on näiteks sõiduki kiiruse salvestamine kohustuslik viis sekundit enne nullhetke (kokkupõrget), intervalliga kaks salvestusväärtust sekundis ehk iga poole sekundi tagant vahemikus 0-250 km/h täpsusega ± 1 km/h. Kiirust tuleb salvestada tasapinnalise kokkupõrke puhul, ümberpaiskumisel ja VRU süsteemi aktiveerimisel. [1]

UN määrus NR.160 ei sisalda täpsemaid parameetreid CDR tööriistadele ega raporteerimismeetodite spetsifikatsioone ning on märgitud riikliku/piirkondliku tasandi nõudena. [1]

3. AVARIILISTE SÕIDUKITE TUVASTAMINE EDR SÜSTEEMI ABIL

Viimaste aastate jooksul on muutunud aktuaalseks välismaalt soodsa hinnaga avariiliste sõidukite importimine Eestisse ja sõidukite müümine kasumi eesmärgil peale taastamist. Nimelt ostetakse väljaspool Eestit avariiline sõiduk, tehakse Eestis korda ning müüakse suure kasumiga maha, kuid sõiduki reaalne turvalisus on langenud ning uus omanik ei pruugi sellest teadlik olla. Kui Eestisiseselt on võimalik sõiduki liikluskahjude ajalugu kontrollida tasuta Eesti Liikluskindlustuse Fondi kodulehelt, ei ole see aga võimalik välismaalt toodavate sõidukite puhul ning tihti pole ka tasuliste aruannete puhul välja toodud sõidukite avariilisus. Sele 8 vasakpoolses tulbas on kuvatud sõiduk Ameerika oksjonil kuupäevaga, millal antud sõiduk müüdi, ning parempoolses tulbas sõiduki arvele võtmise aeg Eestis, kus sõiduk on näiliselt taastatud. [17]



Sele 8. Avariiliste sõidukite müügikuulutused Eesti turul peale taastamist

Uurimistöös käsitletava EDR süsteemi salvestiste põhjal on võimalik tuvastada avariis osalenud sõidukeid ja sõidukitele mõjunud jõude. Tänu salvestavatele parameetritele on võimalik sõiduki potentsiaalset varjatud seisundit paremini mõista ja sellele tähelepanu juhtida. EDR raportis kuvatakse avariisse sattunud sõidukitel, millel on turvasüsteemid aktiveerunud, turvasüsteemide toimimise kiirus millisekundites. Aktiveerunud turvasüsteemide korral on võimalik raporti alusel teha järeldusi avariilisuse kohta ja juhtida tähelepanu kindlatele keredetailide korrektsusele. CDR raportis kuvatakse turvasüsteemide rakendumise tabelis rakendunud turvasüsteemide liik ja rakendumise aeg millisekundites (Sele 9).

Deployment Command Data (Record 1, Most Recent)

Pretensioner, Time to 1st Stage Deployment, Driver (msec)	22
Frontal Airbag, Time to 1st Stage Deployment, Driver (msec)	22
Knee Airbag, Time to Deployment, Driver (msec)	22
Side Airbag, Time to 1st Stage Deployment, Driver (msec)	Not Deployed
Side Curtain/Tube Airbag, Time to Deployment, Driver Side (msec)	22
Pretensioner, Time to 1st Stage Deployment, Front Passenger (msec)	22
Frontal Airbag, Time to 1st Stage Deployment, Front Passenger (msec)	22
Side Airbag, Time to 1st Stage Deployment, Front Passenger (msec)	Not Deployed
Side Curtain/Tube Airbag, Time to Deployment, Passenger Side (msec)	22
Pedestrian Protection System, Time to Deployment, Rear Driver (msec)	Not Deployed
Pedestrian Protection System, Time to Deployment, Rear Passenger (msec)	Not Deployed

Sele 9. Kuvatõmmis turvapatjade aktiveerumise käskude kiirusest avariilise sõiduki puhul

Näidisraporti puhul on avanenud sõiduki eesmised turvapadjad, juhi põlvede turvapadi, kõrvalistuja poolne külgmine turvakardin ning rakendunud esimeste istmete turvavööde eelpingutussüsteem. Turvasüsteemide aktiveerumise kiiruseks on raportis märgitud 22 millisekundit.

4. LIIKLUSÕNNETUSTE REKONSTRUEERIMINE EDR ABIL

Liiklusõnnetuste rekonstrueerimiseks on töös kasutatud PC-Crash kokkupõrke ja trajektoori simulatsioonitarkvara, mis võimaldab täpselt analüüsida mitmesuguseid mootorsõidukite kokkupõrkeid ja sõidukite dünaamilist käitumist erinevates oludes sisestatud parameetrite põhjal. Süsteemi poolt genereeritud tulemusi on võimalik kuvada 2D või 3D-animatsioonide, aruannete, tabelite ja graafikutena. [18]

PC-Crash simulatsioonitarkvara abil on võimalik EDR andmete sisestamisel simulatsiooni andmeid täpsemalt ja ühiselt mõistetavamalt kuvada. Andmete sisestamine tarkvarasse on võimalik ajajoone põhjal, kus iga salvestussüsteemi poolt salvestatud andmevälja teave on sisestatud vastava ajaraami järel (töös tavaliselt 0,5 sekundiliste intervallide järel). Roolinurga puhul on võimalik roolinurk sisestada simulatsiooni koostamisel ajajoone vastavasse tulpa, kuid sõiduki kiiruse jaoks tuleb arvutada iga intervalli vaheline kiirendus või aeglustus.

Järgnevalt leitakse sõiduki kiirendus või aeglustus a (km/h) valemiga (1) [19] :

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}, \quad (1)$$

kus v_1 – algkiirus perioodi alguses, km/h;

v_0 – lõppkiirus perioodi lõppedes, km/h;

t – aeg, sek.

Kuna raportis on kiirused kuvatud km/h, tuli simulatsioonitarkvarasse kiirenduse sisestamisel vastus teisendada m/s. Peale algkiiruse, kiirenduse ja roolinurga sisestamist simulatsiooni ajajoonele, tuleb lasta tarkvaral vastavaid simulatsioone arvutada. Seejärel toimub sõiduki liikumine vastavalt sisestatud väärtustele, mida on hiljem võimalik kontrollida. Simulatsioonis kuvatakse kokkupõrke kiirus ja sõiduki aeglustus.

4.1. I juhtum – rekonstrueerimine salvestatud roolinurga ja kiiruse abil

Esimeseks uuritavaks juhtumiks on asulasisesel teel avariasse sattunud sõiduk, mis kaotas juhitavuse ning põrkas esmalt kokku müüri ja hiljem tänavavalgustuspostiga. Antud juhtumi puhul oli teadaolevaks infoks vaid sõiduki kokkupõrke asukoht ning saadav sündmusandmete salvestise poolt salvestatud raport. Sõiduki kahjustused olid niivõrd suured, et EDR süsteemi poolt salvestatud andmete kuvamine polnud võimalik läbi OBD pistiku ja andmete kuvamine toimus otse läbi sõiduki ACM mooduli.

Sõiduki poolt salvestatud parameetritest osutusid kõige olulisemateks sõiduki kiirus ning roolinurk, mille abil oli võimalik sisestada simulatsioonitarkvarasse sõiduki kiirus, kiirendus/aeglustus ja roolinurk. Lisaks sellele on enne kokkupõrget salvestavates andmetes kuvatud, mis hetkel enne kokkupõrget juht vajutas piduripedaali (Sele 10).

**BOSCH**

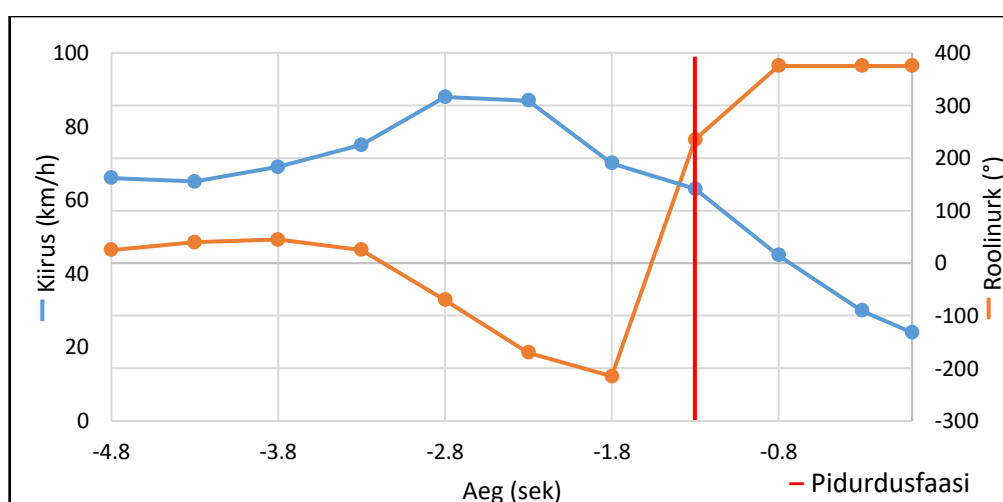
**CDR** CRASH DATA RETRIEVAL

Pre-Crash Data, -5 to 0 seconds (1st Prior Event, TRG 1)

Time (sec)	-4.8	-4.3	-3.8	-3.3	-2.8	-2.3	-1.8	-1.3	-0.8	-0.3	0 (TRG)
Vehicle Speed (MPH [km/h])	41 [66]	40.4 [65]	42.9 [69]	46.6 [75]	54.7 [88]	54.1 [87]	43.5 [70]	39.1 [63]	28 [45]	18.6 [30]	14.9 [24]
Accelerator Pedal, % Full (%)	8.5	23.5	27.5	61.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Steering Input (degrees)	25	40	45	25	-70	-170	-215	235	375	375	375
Service Brake, ON/OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON

Sele 10. Juhtumi avariieelse (I) EDR salvestise neli olulisemat andmevälja CDR raportist

Vastavalt EDR süsteemi poolt salvestatud andmetele oli sõiduki maksimaalne kiirus 2,8 sekundit enne avariid 88 km/h. Lisaks kiirusele on kuvatud gaasi- ja piduripedaali kasutus ning sõiduki roolinurk. Juhtumi puhul on olulise väärtusega sõiduki poolt salvestatud roolinurk, mille kuvamine toimub uuritava sõiduki puhul -375° ja 375° vahemikus, kus positiivne roolinurk on vasakule poole rooli keeramine ning negatiivne roolinurk paremale poole keeramine. Täpsustav info sõidukite positiivsete ja negatiivsete väärtuste puhul on välja toodud CDR raporti täpsustavate andmete tabelis. Roolinurga väärtuste kuvamine graafikuna näitab selgelt väga aktiivset roolinurga muutust sõiduki liikumises lühikese aja jooksul (Sele 11).



Sele 11. Juhtumi (I) roolinurga ja kiiruse muutus ajas

Sõiduki poolt salvestatud andmed sisestati PC-Crash simulatsioonitarkvarasse, kus loodi ajajoon, mis algas 4,8 sekundit enne kokkupõrget. Iga poole sekundi järel sisestati ajajoonele vastavalt salvestusele uued väärtused, lasti simulatsioonil arvutuskäik läbi viia ning kuvati pealtvaates 2D mudel sõiduki sõidutrajektooriga. Kuna juhtumi puhul oli teada, kus avari aset leidis, oli võimalik sõiduki potentsiaalsele trajektooriga lisada ortofoto sündmuse asukohast. Ortofoto lisamisel ja ühildamisel sõiduki viimse asukohaga peale avariid, ei olnud võimalik sõidutrajektoori (märgitud punase joonega) ega sõidutee karakterit loogiliselt ühendada (Sele 12). Sellest on võimalik järeldada, et sõiduki reaalne liikumine ei olnud võimalik ilma läbilibisemiseta mööda antud teelõiku. Punase joonega on kuvatud (Sele 12) juhtumis käsitletava sõiduki sõidutrajektoori 4,8 sekundi jooksul enne kokkupõrget ning sõiduki viimne positsioon peale kokkupõrget.



Sele 12. Juhtumi (I) sõiduki trajektoori läbilibisemise puudumisel sündmuskoha ortofoto taustal

4.2. II juhtum – progressiivne kiirendus

Teiseks käsitletavaks juhtumiks oli kahe sõiduki kokkupõrge tiheda liiklusega asulasisesel valgusfooriga reguleeritud ristmikul. Sõidukite kokkupõrge toimus hea nähtavusega ristmikul, kus manöövrit lõpetava ja alustava sõiduki vahel toimus liiklusõnnetus. Kuna tegu on tiheda liiklusega ristmikuga, oli kättesaadav ka turvakaamera salvestis kokkupõrke hetkest. Tänu videosalvestisele oli võimalik määrata kahe sõiduki sõidutrajektoori, kuid sõidukite täpset kiirust ei olnud võimalik kaamera salvestuse abil määrata. Kuna tegu oli avariiga, mille käigus sai kahjustada hinnaline liikluskamera, oli kindlustusettevõtte mõjutusel võimalik ühest kokkupõrkes osalenud sõidukist alla laadida EDR salvestis. Teine avariis osalenud sõiduk ei olnud EDR süsteemiga varustatud.

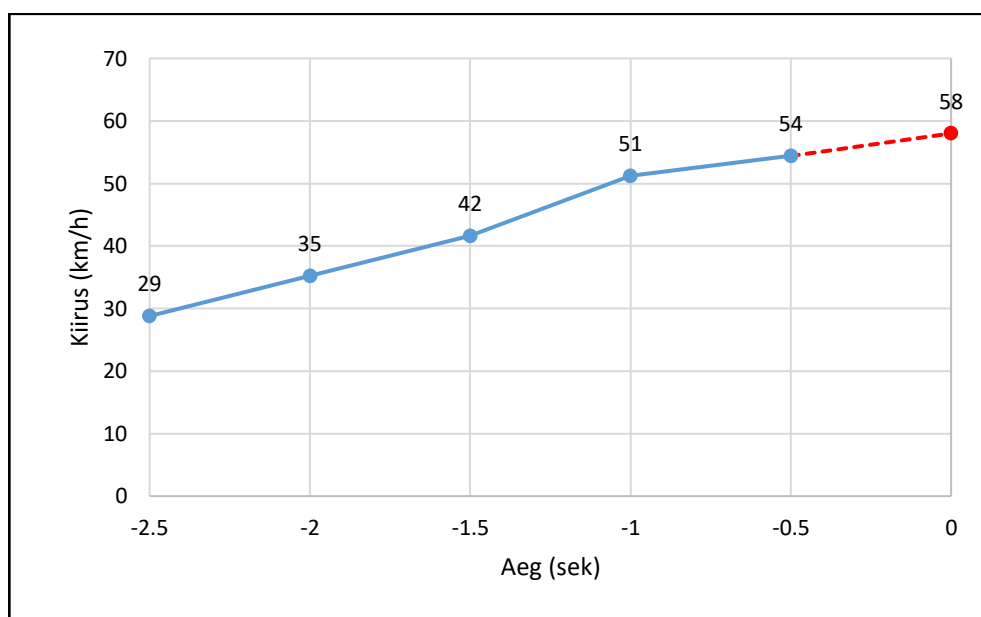
EDR andmeid salvestanud sõiduki puhul oli CDR raportis kuvatud avariieelne ajavahemik -2,5 sekundit kuni -0,5 sekundit, kus kokkupõrke nullhetkeline andmestik ei olnud salvestatud või ei olnud seda võimalik raportis kuvada. Raporti põhjal on võimalik tuvastada sõiduki kiirus hetk enne kokkupõrget, mis antud sõiduki puhul on kuvatud miilides (Sele 13).

Lisaks on kuvatud gaasipedaali ning mootori drosselklapi protsentuaalne kasutus. Välja on toodud ka mootori kiirus ning piduripedaali kasutus, mida juht ei rakendanud isegi -0,5 sekundit enne kokkupõrget.

Pre-Crash Data					
Parameter	-2.5 sec	-2.0 sec	-1.5 sec	-1.0 sec	-0.5 sec
Accelerator Pedal Position (percent)	69	65	63	49	0
Vehicle Speed (MPH)	18	22	26	32	34
Engine Speed (RPM)	3072	3584	4160	4672	4352
Percent Throttle	79	77	76	67	27
Brake Switch Circuit State	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Sele 13. Juhtumi (II) avariieelsed sõiduki EDRi poolt salvestatud andmeväljad

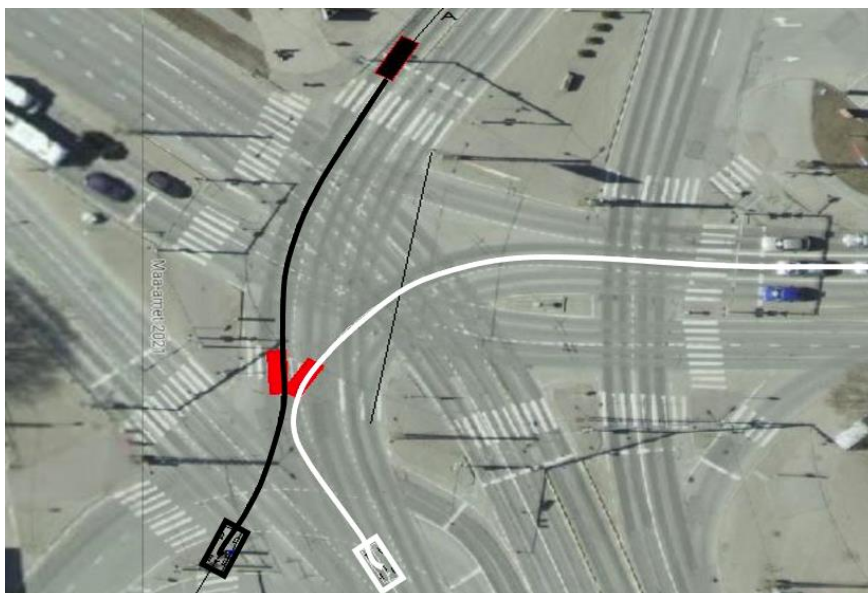
Juhtumi kättesaadava raporti põhjal on koostatud graafik, mis kuvab sõiduki äkilist ja progresseeruvat kiirendust 2,5 sekundit enne kokkupõrget. Punase katkendliku joonega on välja toodud eeldatav sõiduki kiirus kokkupõrke hetkel, milleks võis olla 58 km/h. Sõiduki kiirus liiklusõnnetuse hetkel on arvutatud simulatsioonitarkvara poolt (Sele 14).



Sele 14. Juhtumi (II) kiirus ja eeldatav kiirus kokkupõrke hetkel

Juhtumi puhul oli kättesaadav lähedal asuva kaubanduskeskuse turvakaamera videosalvestis, mille abil oli võimalik määrata kahe sõiduki liikumistrajektor. Tänu ühe kokkupõrkes osalenud sõiduki EDR salvestisele oli võimalik määrata ka antud sõiduki liikumiskiirus ja arvutada kiirendus. Olemasolevad andmed sisestati PC-Crash tarkvarasse, kus algselt loodi kahele sõidukile liikumiskiiruste ajajoon ning lisati liikumistrajektor, millega hiljem ühildati simulatsiooni abil kokkupõrke hetk kahe sõiduki vahel.

Musta joonega on kuvatud sõiduki liikumistrajektor, mille puhul oli EDR raport kättesaadav, ning valge joonega manöövrit lõpetava sõiduki liikumistrajektor. Kahe punase ristkülikuga on märgitud sõidukite vaheline kontakt ning kahe tühja risttahukaga (vastavalt sõiduki trajektoori värvidele) mõlema sõiduki viimne peatumiskoht peale avariid (Sele 15).



Sele 15. Juhtumi (II) kokkupõrkes osalenud sõidukite trajektorid ning esmase kontakti asukoht

Simulatsiooni abil oli võimalik luua 3D mudel, kus on kuvatud liikuv animatsioon kahe sõiduki liikumisest ja kokkupõrkest. Simulatsiooni ja videosalvestise abil on võimalik teha järeldus, kus mõlema sõidukijuhi puhul oli teise osapoole märkamine raskendatud, kuna musta sõiduki äkiline kiirendus valgusfoori tagant manöövri alustamiseks oli manöövrit lõpetamas valge sõiduki juhi jaoks ootamatu. Kokkupõrke tagajärjel toimus kahe sõiduki vahel esmalt kontakt sõidukite esiosade vahel ning peale seda ka kerge kontakt sõidukite tagumiste osade vahel. Peale kontakti kaotas must sõiduk juhitavuse ja põrkas vastu ristmikul asetsevat liikluskaamerat, mis on märgitud 3D-simulatsioonil sinise silindrina (Sele 16).

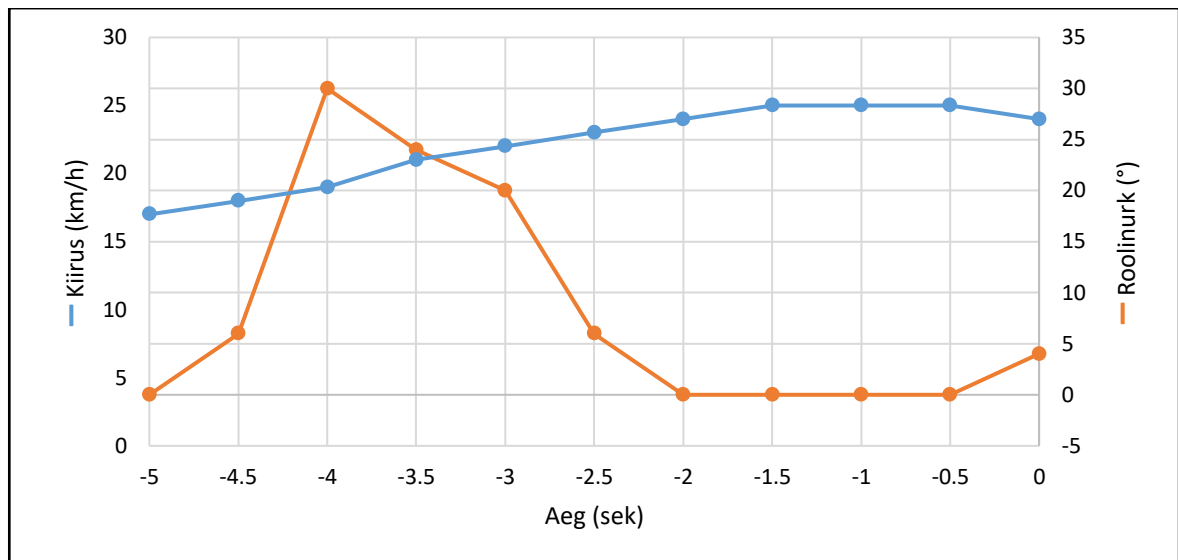


Sele 16. Juhtum (II) 3D mudel kahe sõiduki kokkupõrke hetkel

4.3. III juhtum – juhi aktiivsuse määramine kokkupõrke ennetamiseks

Kolmandaks töös uuritavaks juhtumiks oli üksiku sõiduki kokkupõrge puuga, mis toimus kurvilisel kruusakattega teel halbades ilmastikuoludes pimedal ajal. Juhi ütluste põhjal juhtus õnnetus pimedal ajal, kus kurvis vastutuleva sõiduki tuled pimestasid õnnetusse sattunud juhti, mille tagajärjel kaldus sõiduk vasakkurvis teelt välja ning sõitis vastu teepervel olevat puud. Käsitletava juhtumi puhul oli kättesaadav sõiduki EDR raport ning teada oli ka liiklusõnnetuse juhtumise asukoht.

Liiklusõnnetuses kahjustada saanud sõiduki puhul oli EDR raportis kuvatud sõiduki kiirus, roolinurk, gaasipedaali protsentuaalne kasutus ning mootori pöörded. Samuti oli raportis kuvatud sõidupiduri aktiveerumine, kuid antud info oli raportis kuvatud „vigaste andmetena“ ning ei olnud kättesaadav. Raporti andmete alusel koostas töö autor graafiku, mille põhjal on võimalik visualiseerida sõiduki kiiruse ja roolinurga muutust. Graafikus kuvatud andmete alusel on juhi roolinurga muutus ja kiiruse muutus viie sekundi jooksul enne avariid väga minimaalsed (Sele 17). Maksimaalne roolinurga muutus enne avariid oli 30° ning maksimaalne kiirus 25 km/h. Õnnetuse hetkel oli sõiduki kiiruseks 24 km/h ning sõiduki rool keeratud vasakkurvis 6° võrra paremale.



Sele 17. Juhtumi (III) kiiruse ja roolinurga aktiivsus enne kokkupõrget puuga

Raportis oli samuti kuvatud gaasipedaali kasutus enne avariid 0,5 sekundiliste intervallide tagant 5 sekundi jooksul ning antud väärtus oli konstantselt 0%. Mootori pöörete vahemik ulatus 1280 – 2100 p/min vahele. Raporti põhjal oli võimalik sisestada sõiduki kiirus ja roolinurk ajajoonele PC-Crash tarkvaras. Roolinurga positiivne väärtus kuvab sõiduki vasakpöoret ning negatiivne väärtus parempöoret. Kuna sõiduki avari asukoht oli teada, sai simulatsioonitarkvarasse sisestatud sõiduki trajektoori taustale lisada ka ortofoto sündmuskohast. Sündmuskoha ortofoto ja sõiduki roolinurga kokku viimisel saame teha järeldused sõiduki manöövrast enne kokkupõrget puuga (Sele 18). Illustratsioonil (Sele 18) on sinise joonega kuvatud sõiduki liikumistrajektoor enne avariid ja sõiduki asukoht kokkupõrke hetkel sinise ristkülikuga.



Sele 18. Juhtumi (II) avariasse sattunud sõiduki trajektoor

5. JÄRELDUSED/ANALÜÜS

5.1. Liiklusõnnetuste järelused

Analüüsides kolme juhtumit on võimalik järeldada, et ainuüksi sündmusandmete salvesti andmete põhjal ei ole võimalik täielikult teostada liiklusõnnetuste rekonstruktsioone, kuid EDR süsteemi poolt salvestatud andmete abil on võimalik teostada rekonstruktsioone ja simulatsioone kiiremini ning täpsemalt.

5.1.1. Juhtumi I järelused

Esimeses juhtumis käsitletud liiklusõnnetuse puhul on EDR süsteemi poolt salvestatud andmetest väga mõjuva tähendusega roolinurk ning sõiduki kiirus. Ainuüksi kiiruse ja roolinurga sisestamisel simulatsioonitarkvarasse ei ole võimalik teha usaldusväärseid järeldusi liiklusõnnetusest, kuna antud õnnetuse puhul on määrava tähtsusega sõiduki läbilibisemistegur, mille puudumisel ei ole sõidukil kuidagi võimalik sõidutee karakteristikut jälgida. Varasemalt töös kuvatud foto (Sele 12) põhjal on võimalik järeldada, et läbilibisemise puudumisel ei oleks olnud võimalik sellise roolinurga sisestamisel teelõiku läbida ja toimunud õnnetuse kohta jõuda. Rekonstruktsiooni loomine ainuüksi EDR andmete ja liiklusõnnetuse asukoha põhjal ei ole võimalik juhtumit rekonstrueerida ja täpseks juhtumi taastamiseks oleks samuti vajalik sündmuskoha vaatlust, mille käigus on võimalik kindlaks teha sõiduki tegelik läbitud teekond teekattele tekkinud jälgede abil. Läbilibisemise tuvastamiseks ja määramiseks läbi EDR salvestiste oleks olnud võimalik kasutada sõiduki poolt salvestatud vertikaaltelje pöörlemise kiirenduse andurit (ehk *YAW rate sensorit*), kus mõõdetakse sõiduki pöörlemist ümber sõiduki vertikaaltelje, kuid antud raporti puhul ei olnud see kättesaadav.

5.1.2. Juhtumi II järelused

Teises juhtumis käsitletud liiklusõnnetuse puhul on salvestussüsteemi poolt oluliseks salvestatud väljaks sõiduki kiirus, millest oli võimalik välja arvutada sõiduki kiirendus. Teise juhtumi puhul on oluline järeldada, et ainuüksi EDR poolt salvestatud andmete põhjal ei ole võimalik rekonstrueerida liiklusõnnetust, vaid salvestatud andmete abil on võimalik ainuüksi täpsemalt ja selgemalt välja tuua õnnetuse asjaolud. Lisaks sellele on võimalik järeldada puudusi, kus vanema generatsiooni salvestussüsteemides võib puududa olulisi andmeväljasid, milleks antud juhtumi puhul oli kiirus kokkupõrke hetkel. Teise juhtumi raporti alusel on võimalik ka välja tuua, et sündmusandete salvestise poolt salvestatud andmete ajajoone ja intervallide puhul on varasemate salvestussüsteemide ja autotootjate vahel erinevusi.

Antud sõiduki puhul salvestas süsteem vaid 2,5 sekundit sõiduki tehnilist avariielset teavet. Vastavalt kehtima hakkavale ÜRO määrusele, on uued süsteemid kohustatud salvestama ühtselt minimaalset viie sekundi ulatuses avariielset andmeid.

5.1.3. Juhtumi III järeldus

Kolmanda juhtumi puhul leidis autor, et salvestatud roolinurga väärtuste abil on võimalik tuvastada puudulik juhi tegutsemine õnnetuse ärahoidmiseks. Lisaks sellele puudub raportis olulise tähtsusega andmeväljasid, kus oluliseks kuvamata andmeväljaks oli sõidupiduri kasutus. Piduripedaali rakendumise andmete kättesaadavusel, oleks olnud võimalik teha täpsemaid järeldusi juhi tegutsemisest avarii ennetamiseks.

5.1.4. Järeldused ja ettepanekud CDR raporti koostamisest (VIN)

Uurimistöö autori poolt läbi viidud katse käigus selgus, et CDR raporti koostamisel kuvatakse raportis manuaalselt sisestatud sõiduki identifitseerimisnumber, mis võib osutada salvestatud PDF raportis valeks ning mille puhul ei ole võimalik seostada moodulit kindla sõidukiga. Tulenevalt sellest on raporti usaldusväärseks pidamiseks vajalik raporti koostamisel sertifitseeritud isikud ja asutused. CDR raportite koostamisel on võimalik manuaalselt sisestada: sõiduki VIN kood, raporti koostaja nimi, juhtumi number ning avarii kuupäev. Lisaks salvestatud andmetele ja selgitustele kuvatakse süsteemi poolt raporti informatiivses tabelis automaatselt: CDR tarkvara ja raporti koostamise versioon ning litsentseeritud ettevõtte või asutus. Tulenevalt sellest, on oluline tulevikus süsteemi populaarsemaks muutumisel selgelt määratleda riiklikul või regionaalsel tasandil sertifitseeritud raportite koostajad ja koostatud raporti edastamiseks või kuvamiseks tuleks raport ka näiteks digitaalselt allkirjastada.

Juhul, kus pole teada sõiduki VIN kood, on siiski võimalik tundmatu sõiduki ACM moodulist andmeid koguda. Selleks on ACM moodulil kuvatud tootekood, mille abil on võimalik tuvastada sõiduki tootja, mudel ja väljalaskeaasta, kelle toodetud sõidukile moodul kuulub. Kui on teada sõiduk ja tootmisaasta, on läbi Boschi tarkvara võimalik tuvastada vastav vaheühendus CDR tööriista ja mooduli vahel. Kuna süsteem lubab andmete lugemist vale sõiduki identifitseerimisnumbriga jätkata, on võimalik siiski andmeid koguda, kuid pole teada, millisele kindlale sõidukile need andmed kuuluvad. Tulenevalt sellest on vajalik riiklikul või regionaalsel tasandil keelustada või rangelt reguleerida kasutatud või avariiliste sõidukite ACM moodulite edasimüük. Edasimüügi seadustamisega on võimalik peatada EDR süsteemi poolt salvestatavate andmete rändlus ning avariiliste sõidukite taastamisel kasutatud mooduli kasutamine.

Alates 2022. aasta juulist kehtima hakkava dokumendi EL 2019/2144 alusel pole lubatud EDR salvestites kuvada sõiduki identifitseerimiseks nelja viimast VIN koodi numbrit, mistõttu pole 2022. aastal ja hiljem toodetud sõidukite puhul CDR raportil seost kindla sõidukiga. Raporti põhjal on võimalik tuvastada vaid juhtum, kuid kuvatud andmeid ei saa kasutada usaldusväärse tõendina. Sellest hoolimata on turul suur hulk sõidukeid, mille puhul on lubatud VIN koodi kuvamine, mille alusel saab raportis kuvada kindla sõiduki salvestatud andmeid ning mille raportit on võimalik kasutada usaldusväärse tõendina. Siinjuures tuleb rõhutada, et usaldusväärse tõendina saab kasutada vaid raportit, mis on koostatud vastava pädevuse ja sertifikaadiga asjatundja poolt, kelle puhul ei teki kahtlust andmete võltsimises.

5.2. Autori poolsed ettepanekud

Töö koostanud autori poolsed ettepanekud on suunatud kindlustusettevõtetele, liiklusõnnetuste rekonstrueerimisega tegelevatele ettevõtetele/isikutele, autokoolidele ning Transpordiametile.

Uurimistöö käigus selgus, et süsteemi poolt salvestatud andmete abil on võimalik tuvastada sõidukeid, mis on osalenud avariiis. Avariiliste sõidukite tuvastamiseks saab kasutada eelkõige raporti „Deployment Command Data“ andmetabelit, kus tuuakse välja aktiveerunud turvasüsteemid ja nende rakendumise kiirus (Sele 9). Saadavalolevate andmete põhjal on võimalik välja selgitada liiklusõnnetuse suund ja sõiduki vigastuste hulk. Rakendunud turvasüsteemide info põhjal saab täpsemalt uurida sõiduki võimalikke kannatatud keredetaile ja selgitada sõiduki avariilisuse taastamise korrektsus või avarii raskusaste. Autori järelduste põhjal on võimalik teha ettepanek Transpordiametile, kus kasutatud autode esmaregistreerimise käigus läbitava kontrolli üheks etappiks oleks ka sõiduki EDR andmete kontrollimine, millega saab tuvastada avariijärgselt taastatud sõidukeid. Juhul kui kontroll tuvastab avariilise sõiduki, on sõiduk kohustatud läbima detailsema kere ja turvasüsteemide kontrolli vastavas sertifitseeritud ettevõttes. Kontrolli läbimisel kuvatakse sõiduki registreerimisandmetes (nt. tehnilises passis ja Transpordiameti sõiduki andmetes) vastav lisamärge.

Uurimistöös koostatud ja analüüsitud kolme liiklusõnnetusjuhtumi puhul saab järeldada, et EDR andmete abil on võimalik rekonstrueerida liiklusõnnetusi, kuid ainuüksi salvestussüsteemi salvestisest ei piisa täpseks rekonstruktsiooniks. Rekonstruktsioonide abil on võimalik välja selgitada liiklusõnnetus asjaolusid ja välja tuua juhi aktiivsus õnnetuse ärahoidmiseks. Salvestistes kuvatud kiiruse, roolinurga, pidurite rakendamise ja gaasipedaali töövahemiku abil on võimalik välja selgitada, mis hetkest reageeris juht ohule ja kas juhi tegevus oli piisav, et vähendada või ära hoida liiklusõnnetuse kahjustusi.

Tähelepanu tuleb pöörata süsteemi puudustena uurimistöö käigus välja tulnud olukorrale, kus sõiduki tegelik liikumine toimus läbi intensiivse libisemise ning mille EDR salvestise väärtuste põhjal ei olnud võimalik õnnetusjuhtumit rekonstrueerida. See on vajalik info eelkõige liiklusõnnetuste uurijatele ja kindlustusjuhtumite käsitlejatele, kus CDR raportis kuvatud andmete põhjal ei ole võimalik järeldada sõiduki tegelikku liikumiskiirust ja suunda. Kõiki õnnetusjuhtumeid ei ole võimalik menetleda ühtselt ning alati tuleb enne lõplikku järeldust analüüsida võimalikult paljusid infoallikaid, millest üheks võib pidada EDR salvestise andmeid.

Rekonstruktsioonide põhjal saab järeldada, et EDR süsteemi poolt salvestatavate parameetrite analüüsimisel on võimalik vähendada liiklusõnnetuste hulka. Saadavate salvestiste põhjal on võimalik koolitada juhte liikluses ohtlikes oludes käituma ja läbi selle kaasa aidata õnnetusjuhtumite vähenemisele. Lisaks juhtide koolitamisele on võimalik EDR salvestiste analüüsimise abil luua ohutum tänavapilt liikluses läbi täiustatud teedevõrgustike.

KOKKUVÕTE

Lõputöö „Liiklusõnnetuse rekonstrueerimine EDR süsteemi abil“ eesmärgiks oli tuvasta võimalused liiklusõnnetuste rekonstrueerimiseks sõiduautodes kasutusel oleva salvestussüsteemi abil. Lisaks selle uuriti töös, kas on võimalik EDR salvestiste abil sõidukite avariilisust tuvastada.

Vastavalt lõputöös läbi viidud testidele ja analüüsidele on võimalik järeldada, et CDR raporti abil on võimalik tuvastada avariilaseid sõidukeid, kuid ei ole võimalik luua kindlaid seoseid sõiduki ja CDR raporti vahel. CDR raportite koostamise testis selgus, et sõidukite ACM mooduleid on võimalik vahetada süsteemi poolt tuvastamata. Lisaks mooduli vahetamisele on võimalik raportis kuvada manuaalselt sisestatud sõiduki VIN kood, kus raporti koostamisel süsteem hoiatab vale VIN koodi sisestamisest, kuid hilisemalt ei kuvata raportis VIN koodi sisestamisel tekkinud hoiatust.

Töös koostatud kolme juhtumi rekonstruktsioonide põhjal on võimalik järeldada, et ainuüksi EDR süsteemi poolt salvestatud andmeväljade info abil ei ole võimalik rekonstrueerida liiklusõnnetusi, kuid salvestatud andmed lisavad rekonstruktsioonide loomisele täpsust. Salvestatud andmete alusel on võimalik analüüsida juhi reageerimist õnnetusele. Rekonstruktsioonide loomisel avaldus ka süsteemi poolt salvestatavates andmetes ebakõla, kus salvestatud väärtused iseloomustasid sõiduki sisend- ja väljundväärtuseid, kuid ei arvestanud väliste tingimustega, kus sõiduki liikumist võib mõjutada läbilibisemine.

Autori ettepanek süsteemi salvestiste kasutamiseks liiklusõnnetuste analüüsimisel, mille järelduste põhjal saaks täiustada autojuhtide liiklusõpet, vähendaks liiklusõnnetuste hulka ja muudaks tänavapildi turvalisemaks. Lisaks sellele tuleks autori ettepanekul reguleerida riiklikul või regionaalsel tasandil sertifitseeritud raportite koostamist ja edastamist.

Autori hinnangul muutub EDR süsteemi aktuaalsus aina populaarsemaks ning süsteemi salvestiste kasutamine üha olulisemaks väärtuseks liiklusõnnetuste uurimisel aina rohkem automatiseeritud sõidukite puhul.

SUMMARY

The aim of the thesis "Reconstruction of a Traffic Accident Using the EDR System" was to identify the possibilities for the reconstruction of traffic accidents using a recording system used in passenger vehicles. In addition, it was investigated whether it was possible to detect previously wrecked vehicles using EDR recordings.

According to the tests and analysis carried out in the thesis, it can be concluded that the CDR report can be used to identify previously wrecked vehicles, but it is not possible to establish definite links between the vehicle and the CDR report. Tests showed that the vehicle ACM could be replaced without being detected by the system. In addition, the manually entered vehicle identification number can be displayed in the report, where the system warns about entering an incorrect VIN, but the usage of an incorrect VIN is not displayed on the final CDR report.

Based on the reconstructions of the three cases compiled in the thesis, the author came to a conclusion that it is not possible to reconstruct traffic accidents solely with the help of the data fields stored by the EDR system alone, but the recorded data adds accuracy to the creation of the reconstructions. Based on the stored data, it is possible to analyze the driver's response to the accident. When creating the reconstructions, there was also an inconsistency in the data stored by the system, where the stored values defined the input and output values of the vehicle, but did not take into account the external conditions, where the movement of the vehicle may be affected by sliding.

The author's proposal to use the system's recordings for the analysis of traffic accidents, the conclusions of which could improve the traffic education of drivers, would reduce the number of traffic accidents and make the overall traffic safer. By the author's proposal, the production of certified reports should be regulated at a regional or national level.

According to the author, the adequacy of the EDR system is becoming more and more common, and the use of system recordings is becoming an increasingly important value in the investigation of traffic accidents in the case of furtherly automated vehicles.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] UN Majandus- ja Sotsiaalnõukogu, „ECE/TRANS/WP.29,“ 12. jaanuar, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.eudarts-group.com/_files/ugd/fcfed0_e88742306b8948b2b9f86eebf033359b.pdf. [Kasutatud 21. veebruar, 2022].
- [2] Volvo, „Andmete salvestamine,“ 23. juuli, 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.volvocars.com/et-ee/support/manuals/xc60/2015w46/sissejuhatus/sissejuhatus/andmete-salvestamine>. [Kasutatud 15. jaanuar, 2022].
- [3] Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc., „Toyota Clarifies the Facts About Event Data Recorders,“ Toyota, [Võrgumaterjal]. Available: <https://pressroom.toyota.com/toyota-clarifies-the-facts-about-event-data-recorders/>. [Kasutatud 11. veebruar, 2022].
- [4] H. Gabler, J. Hinch ja J. Steiner, Event Data Recorders: A Decade of Innovation, Warrendale, USA: SAE International, 2008.
- [5] Crash Forensics, „Automobile Crash Event Data Recorder Downloading,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.crashforensics.com/automobiledatarecorders.cfm>. [Kasutatud 31. märts, 2022].
- [6] C. Fookes ja R. Robertson, „Where Is the Black Box Located in a Car?,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://kodsengineering.com/car-black-box-location/>. [Kasutatud 6. mai, 2022].
- [7] Hawkins, „EVENT DATA RECORDERS IN PASSENGER VEHICLES,“ Hawkins investigation, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hawkins.biz/insights/insight/event-data-recorders-in-passenger-vehicles>. [Kasutatud 12. aprill, 2022].
- [8] NCHRP, detsember 2004. [Võrgumaterjal]. Available: <https://nap.nationalacademies.org/read/21974/chapter/1>. [Kasutatud 22. aprill, 2022].
- [9] H. Bot ja J. P. Peters, „EDR: First Step EDR approved by the GRSG,“ jaanuar. 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eudarts-group.com/edr-in-europe>. [Kasutatud 12. jaanuar, 2022].
- [10] Bosch Automotive Service Solutions Inc., „Bosch Crash Data Retrieval Tool 21.2“.

- [11] Ruth Consulting, „EDR Update 2021 State of EDR in the U.S.“, 21. juuni, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://iptm.unf.edu/uploadedFiles/symposium/handouts/Ruth-EDR-Update-2021.pdf>. [Kasutatud 14. märts, 2022].
- [12] „Crashdatagroup“, Crashdatagroup/Bosch, [Võrgumaterjal]. Available: <https://crashdatagroup.com/products/bosch-cdr-tool-pro-kit>. [Kasutatud 11. märts, 2022].
- [13] Crashdatagroup, „Bosch CDR Tool Product Line“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://crashdatagroup.com/collections/bosch-cdr-tool-product-line>. [Kasutatud 22. aprill, 2022].
- [14] Euroopa parlament ja Euroop liidu nõukogu, „EL 2019/2144“, 27. november, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R2144&from=EN>. [Kasutatud 21. veebruar, 2022].
- [15] DEPARTMENT OF TRANSPORTATION , „49 CFR Part 563“, 2006. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/fmvss/EDRFinalRule_Aug2006.pdf. [Kasutatud 14. märts, 2022].
- [16] China Automotive Technology and Research Center, „Chinese Mandatory National Standard GB “Automobile Event Data Recorder system”,“ 8. oktoober, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://unece.org/DAM/trans/main/wp29/GRSG-117-05e.pdf>. [Kasutatud 14. märts, 2022].
- [17] K. Pihl, „Pealtnägija": kasutatud autode turul lokkab metsik lääs“, ERR, 3. november, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.err.ee/1608391007/pealtnagija-kasutatud-autode-turul-lokkab-metsik-laas>. [Kasutatud 4. mai, 2022].
- [18] DSD, Dr. Steffan Datentechnik, „DSD“, 2018. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=512:pc-crash-deutsch-sicherung-2&catid=37:products&Itemid=159&lang=en. [Kasutatud 31. märts, 2022].
- [19] StudyRisk, „Kiirenduse arvutamine“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://study.risk.ee/prog/ylesanded/kiirendus/>. [Kasutatud 4. mai, 2022].
- [20] Collision Sciences, „Collision Sciences“, Collision Sciences, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.collision-sciences.com/page2.html>. [Kasutatud 14. märts, 2022].